

文章编号:1671-251X(2021)12-0062-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2021080067

智慧矿山 5G 网络上行速率增强算法

蒋建峰^{1,2}, 陈四华³, 尤澜涛⁴

- (1. 苏州工业园区服务外包职业学院 信息工程学院, 江苏 苏州 215123;
2. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210000;
3. 中国电信股份有限公司 安徽分公司, 安徽 合肥 230000;
4. 苏州大学 计算机科学与技术学院, 江苏 苏州 215123)



扫码移动阅读

摘要:智慧矿山中远程控制、高清视频、无人矿车和无人机等 5G 应用场景对无线网络上行速率提出了新的要求,但目前 5G 网络上行速率不足导致智慧矿山业务受限,而现有 5G 网络上行速率增强算法提高上行速率的幅度有限。针对上述问题,提出了一种智慧矿山 5G 网络上行速率增强算法,通过采用上行辅助技术在 C-Band 高频段上叠加 Sub-3 GHz 低频段来实现频谱资源聚合,通过频域资源分配和时域资源调度提高网络上行速率。在中近点区域,基站进行上行数据调度时,用户设备在 C-Band 频段上行时隙使用 3.5 GHz 频段发送上行数据,在 C-Band 频段下行时隙使用 1.8/2.1 GHz 频段发送上行数据;在远点区域,3.5 GHz 频段上行受限,用户设备只使用 1.8/2.1 GHz 频段发送上行数据。测试结果表明,该算法分别提升矿山近点区域、中点区域和远点区域上行速率 17%,41%,213%,网络平均上行速率得到明显提升。

关键词:智慧矿山; 5G; 上行速率; 频谱叠加; 频域分配; 时域调度
中图分类号:TD655 文献标志码:A

Uplink rate enhancement algorithm for 5G network in intelligent mine

JIANG Jianfeng^{1,2}, CHEN Sihua³, YOU Lantao⁴

- (1. School of Information Engineering, Suzhou Industrial Park Institute of Services Outsourcing,
- Suzhou 215123, China; 2. School of Computer Science, Nanjing University of Posts and
- Telecommunications, Nanjing 210000, China; 3. Anhui Branch, China Telecom, Hefei 230000,
- China; 4. School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215123, China)

Abstract: The 5G application scenarios such as remote control, high-definition video, unmanned mine car and unmanned aerial vehicle in intelligent mine put forward new requirements for the uplink rate of wireless network. However, the current 5G network uplink rate is insufficient, which leads to the limitation of intelligent mine business. And the existing 5G network uplink rate enhancement algorithm has limited range to improve the uplink rate. In order to solve the above problems, this paper proposes an uplink rate enhancement algorithm for 5G network in intelligent mine. By using supplementary upload technology, the spectrum resource aggregation is realized by overlaying Sub-3 GHz low band on the high band of C-Band, and the uplink rate of the network is improved by frequency domain resource allocation and time domain resource scheduling. In the middle-near point area, when the base station performs uplink data scheduling, the user equipment uses the 3.5 GHz frequency band to send uplink data in the uplink time slot of the C-Band frequency band, and uses the 1.8/2.1 GHz frequency band to send uplink data in

收稿日期:2021-08-24;修回日期:2021-12-07;责任编辑:盛男。
基金项目:国家自然科学基金项目(61702351);江苏省博士后研究基金项目(2018K009B);江苏省专业带头人高端研修项目(2020GRFX074);江苏省青蓝工程项目(苏教师函[2020]10号);苏州工业园区服务外包职业学院网络空间安全研究中心项目(YFZX-202001)。
作者简介:蒋建峰(1983—),男,江苏苏州人,副教授,硕士,研究方向为 5G 网络、虚拟化、云计算技术,E-mail:jiangjf@siso.edu.cn。
引用格式:蒋建峰,陈四华,尤澜涛. 智慧矿山 5G 网络上行速率增强算法[J]. 工矿自动化,2021,47(12):62-67.
JIANG Jianfeng,CHEN Sihua,YOU Lantao. Uplink rate enhancement algorithm for 5G network in intelligent mine[J]. Industry and Mine Automation,2021,47(12):62-67.

the downlink time slot of the C-Band frequency band. In the far point area, the 3.5 GHz frequency band uplink is limited, and the user equipment only uses the 1.8/2.1 GHz frequency band to send uplink data. The test results show that the algorithm improves the mine near-point area, middle-point area and far-point area uplink rate by 17%, 41% and 213% respectively, and the average network uplink rate is significantly improved.

Key words: intelligent mine; 5G; uplink rate; spectrum overlay; frequency domain allocation; time domain scheduling

0 引言

当前基于5G技术的智慧矿山^[1-4]建设从生产、运行和管理等维度提出了“5G+远程控制”、“5G+高清视频”、“5G+无人矿车”和“5G+无人机”等,这些应用场景对网络上行速率提出了新的要求。由于现阶段5G网络主要面向大众业务,所以在时隙配比方面仍然以下行时隙为主,上下行速率差异大,上行速率明显受限。矿山结构复杂,网络覆盖条件差,网络上行速率不足导致基于5G网络的智慧矿山业务严重受阻。因此提高5G网络上行速率是当前的一个研究热点。张立亚等^[5]根据射频能量损耗优化模型来降低信号传输损耗,提升了矿用5G通信系统传输速率,但由于能量限制,上行速率提升幅度有限。蒋建峰等^[6]通过研究大规模天线技术,将发送信号矢量分组,采用似然检测和干扰消除检测来提升网络上行速率,但由于增加了运算复杂度,上行速率提升幅度也很有限。本文提出一种智慧矿山5G网络上行速率增强算法,将不同频段的频谱资源聚合,通过高低频段协同有效提高网络上行速率。

1 5G网络频谱和速率

1.1 5G 频谱

目前5G SA^[7](Stand-Alone,独立组网)已成为主流的5G网络架构,其主流的C-Band频段以3.5 GHz高频段为主,带宽资源非常丰富,但覆盖范围较小,且路径损耗和穿透损耗较高。运营商的Sub-3 GHz频段(1.8/2.1 GHz)频率低,穿透性较好,覆盖范围相对较大,且绕射性能好^[8-9]。使用单一的3.5 GHz频段部署单层网络难以满足智慧矿山的多元化业务需求,将1.8/2.1 GHz频段纳入5G网络建设,可获得更大的矿山网络覆盖范围和速率。

1.2 上下行速率

当前5G SA网络在3.5 GHz频段主要使用TDD(Time Division Duplex,时分双工)模式组网^[10-12],最大支持8个SSB(Synchronization Signal and PBCH Block,同步信号和PBCH块),其一般上

下行时隙配比为2:8,3:7和1:4,上行时隙所占比例较低。Sub-3 GHz的低频段FDD(Frequency Division Duplex,频分双工)组网模式虽然只支持4个SSB,但上行时隙所占比例较高,上行能力比3.5 GHz网络好。某矿山区域5G SA网络覆盖边缘的上下行速率如图1所示,下行速率只能保持在70~310 Mbit/s,上行速率更是低到12 Mbit/s以下,上下行速率极不平衡。

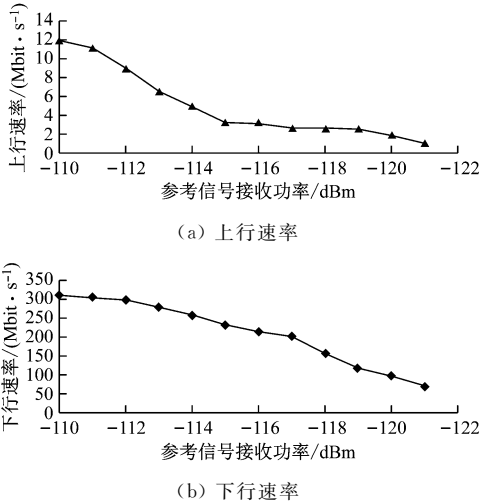


图1 矿山区域覆盖边缘上下行速率
Fig.1 Uplink and downlink rate of mine area covering edge

2 5G网络上行速率增强算法

2.1 算法原理

当前运营商网络的1.8/2.1 GHz频段利用率较低,但覆盖能力强,基站低频信号的穿透性较好,通过SUL(Supplementary Upload,上行辅助)技术^[13]在C-Band频段上叠加Sub-3 GHz频段来提升上行速率和覆盖范围,如图2所示。

高低频段叠加时,考虑矿山复杂环境对于信号传输的影响,在频域资源分配和时域资源调度时分为中近点区域和远点区域2种情况。在中近点区域,基站进行上行数据调度时,UE(User Equipment,用户设备)在C-Band频段上行时隙使用3.5 GHz频段发送上行数据,在C-Band频段下行时隙使用1.8/2.1 GHz频段发送上行数据;在远

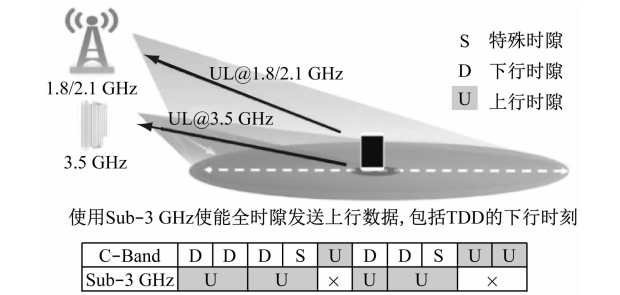


图 2 5G 网络上行速率增强算法原理

Fig. 2 Principle of uplink rate enhancement algorithm for 5G network

点区域,3.5 GHz 频段上行受限,UE 只使用 1.8/2.1 GHz 频段发送上行数据。

2.2 算法流程

5G 网络上行速率增强算法包括以下步骤:

(1) UE 接入^[14]。当前大部分 5G 终端都支持 5G SA 网络,能动态改变 UE 配置。UE 开机时处于空闲模式,UE 通过测量 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio,信号与干扰加噪声比)来选择频段。当 SINR 不小于设定门限值时,说明上行覆盖良好,UE 选择接入 3.5 GHz 频段;当 UE 处于 5G SA 网络边缘时,SINR 小于设定门限值,网络上行受限,5G 网络控制 UE 接入 Sub-3 GHz 频段的 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel,物理上行共享信道)进行数据传送。UE 接入如图 3 所示。



图 3 UE 接入

Fig. 3 UE access

(2) 上行频域资源分配^[15]。PUSCH 配置 2 个频段 C-Band 和 Sub-3 GHz,PUCCH (Physical Uplink Control Channel,物理上行链路控制信道)仅配置 C-Band 频段,如图 4 所示。根据最新 5G R16 标准,DCI (Downlink Control Information,下行链路控制信息) formats 指示 DCI 信息为上行还是下行调度信息,占用 1 bit,0 表示上行,1 表示下行。上行 DCI 主要指示上行 PUSCH 传输,包括 DCI format 0_0 和 DCI format 0_1 这 2 种字段格式。PUSCH 有 2 种频域资源分配类型:类型 0 和

类型 1。类型 0 为 UE 分配连续频域资源,类型 1 为 UE 可分配非连续频域资源。



图 4 频段配置

Fig. 4 Frequency band configuration

当字段格式为 DCI format 0_0,且频域资源分配类型为 1 时,如果 DCI format 0_0 由 C-RNTI (Cell-Radio Network Temporary Identifier,小区无线网络临时标志),CS-RNTI (Configured Scheduling RNTI,配置调度 RNTI)或 MCS-C-RNTI (Modulation Coding Scheme Cell RNTI,调制编码方案小区 RNTI)加扰,并且不使用 PUSCH 跳频时,频域资源分配占用比特数为

$$N_f = \lceil \log_2 (B_{RB}^{UL,BWP} (B_{RB}^{UL,BWP} + 1) / 2) \rceil \quad (1)$$

式中 $B_{RB}^{UL,BWP}$ 为激活 UL BWP (Uplink Bandwidth Part,上行部分带宽)的大小。

对于使用 PUSCH 跳频的情况,频域资源分配占用比特数为

$$N_f = \lceil \log_2 (B_{RB}^{UL,BWP} (B_{RB}^{UL,BWP} + 1) / 2) \rceil - N_{UL_HOP} \quad (2)$$

式中 N_{UL_HOP} 为频偏指示比特数,如果频跳偏移列表包含 2 个偏移值,则 $N_{UL_HOP} = 1$,如果频跳偏移列表包含 4 个偏移值,则 $N_{UL_HOP} = 2$ 。

如果 DCI format 0_0 由 TC-RNTI (Temporary Cell RNTI,临时小区 RNTI)加扰,不使用 PUSCH 跳频,则利用式(1)计算频域资源分配占用比特数;若使用 PUSCH 跳频,则利用式(2)计算频域资源分配占用比特数,且 $B_{RB}^{UL,BWP}$ 为初始 UL BWP 的大小,若其值小于 50,则 $N_{UL_HOP} = 1$,否则 $N_{UL_HOP} = 2$ 。

当字段格式为 DCI format 0_1,且频域资源分配类型为 1 时,使能跨载波调度特性,生成 Carrier indicator 字段用于指示 DCI 调度是哪个服务小区上的资源。Carrier indicator 为 0 指示当前小区,Carrier indicator 为 3 bit 指示其他小区。 S_{RBG} 指示 UL BWP RBG (Resource Block Group,物理资源块组)总数:

$$S_{\text{RBG}} = \lceil (S_{\text{VRB}}^{\text{size}} + M_{\text{start}} \bmod S_p) / S_p \rceil \quad (3)$$

式中: $S_{\text{VRB}}^{\text{size}}$ 为载波带宽中 VRB (Virtual Resource Blocks, 虚拟资源块) 总数; M_{start} 为 UL BWP 中起始 VRB 的编号; S_p 为标准 RBG 内 VRB 数量。

第 1 个 RBG 中 VRB 数量为

$$S_{\text{VRB}}^{\text{start}} = S_p - M_{\text{start}} \bmod S_p \quad (4)$$

最后一个 RBG 中 VRB 数量为

$$S_{\text{VRB}}^{\text{last}} = \begin{cases} (S_{\text{VRB}}^{\text{start}} + S_{\text{VRB}}^{\text{size}}) \bmod S_p & (S_{\text{VRB}}^{\text{start}} + S_{\text{VRB}}^{\text{size}}) \bmod S_p > 0 \\ S_p & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

如果频域资源分配类型 0 和类型 1 都被配置, 则 UL BWP RBG 的数量为

$$S_{\text{RBG}} = \max \left(\left\lceil \log_2 \frac{B_{\text{RB}}^{\text{UL,BWP}} (B_{\text{RB}}^{\text{UL,BWP}} + 1)}{2} \right\rceil, S_{\text{RBG}} \right) + 1 \quad (6)$$

(3) 小区切换。UE 在小区间移动切换过程如图 5 所示。UE 通过测量 SINR 反馈结果, 发起小区切换请求, 5G 基站响应切换请求, 通过步骤(2)完成上行频域资源分配。UE 完成新的载波发起非竞争接入, 完成频段选择。

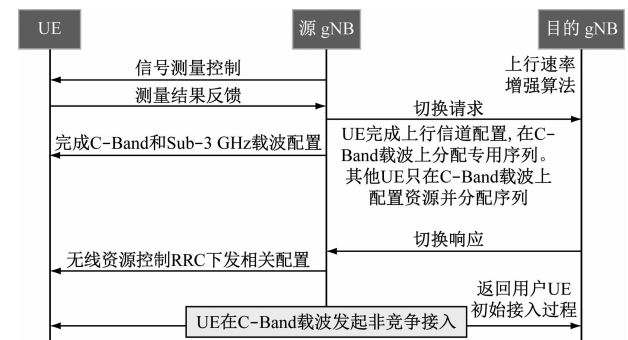


图 5 UE 在小区间移动切换过程

Fig. 5 Process of UE mobile handover between cells

(4) 上行时域资源调度。基站进行上行数据时域资源调度时, 通过时域资源指示字段格式 DCI format 1_0 和 DCI format 1_1 中的 Time domain resource assignment 字段值 m 确定时域资源分配表中的行索引 $m+1$ 。PUSCH 时域分配通过式(7)计算。

$$k_s = \left\lfloor n \frac{2^{t_{\text{PUSCH}}}}{2^{t_{\text{PDCCH}}}} \right\rfloor + k_0 \quad (7)$$

式中: k_s 为 PUSCH 时隙分配位置; n 为调度 DCI 的时隙号; t_{PUSCH} , t_{PDCCH} 分别为 PUSCH, PDCCH (Physical Downlink Control Channel, 物理下行控制信道) 配置的子载波间隔; k_0 为 PUSCH 时隙分配位置偏移值。

起始和长度指示值 E_{SLIV} 确定 PUSCH 分配的

时域起始位置和数量。

$$E_{\text{SLIV}} = \begin{cases} 14(L-1) + s & L-1 \leq 7 \\ 14(14-L+1) + (14-1-s) & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中: s 为起始符号数量; L 为 PUSCH 上占用的符号长度 ($0 < L \leq 14-s$)。

基站通过 DCI 进行时域调度, 中近点区域和远点区域的时域调度如图 6 所示。

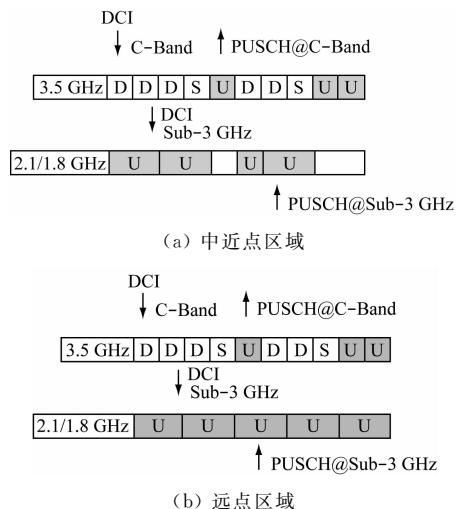


图 6 中近点区域和远点区域时域调度

Fig. 6 Time domain scheduling in middle near-point area and far-point area

3 测试验证

测试场景选择某矿区。基站扇区的主要覆盖方向为矿山, 基站距离地面高度为 144 m, 支持 3.5 GHz 频段和 2.1 GHz 频段, 基站功率为 64 W, 终端使用 5G 无线终端接入设备 CPE PRO。3.5 GHz 基站天线为 64R, 终端天线为 2T4R, 上下行时隙配比为 7:3, 上行带宽为 100 MHz, 频率范围为 3 400~3 500 MHz; 2.1 GHz 基站天线为 4R, 终端天线为 1T, 时隙全部配给上行, 上行带宽为 20 MHz, 频率范围为 1 920~1 940 MHz。

为验证上行速率增强算法的有效性, 分别测试 3.5 GHz 网络和经过上行速率增强算法优化后 3.5 GHz+2.1 GHz 网络的上行速率。测试区域如图 7 所示。测试区域 1(近点区域): 领导办公室, 距离基站水平距离为 289.4 m; 测试区域 2(中点区域): 职工办公室, 距离基站水平距离为 575.6 m; 测试区域 3(远点区域): 地下室工作间, 距离基站水平距离为 614.2 m。

3.1 定点测试

在测试区域 1—3 选取 16 个定点 (P1—P16), 测试结果见表 1。可看出采用上行速率增强算法



图 7 测试区域

Fig. 7 Test area

后,在矿区近点区域平均上行速率提升 17%,在矿区中点区域平均上行速率提升 41%,在矿区远点区域平均上行速率提升 213%。

表 1 定点测试结果

Table 1 Fixed-point test results

测试区域	测试位置	参考信号接收功率/(dBm)	3.5 GHz 网络上行速率/(Mbit · s ⁻¹)	3.5 GHz+2.1 GHz 网络上行速率/(Mbit · s ⁻¹)
区域 1	P1	-67.83	232.77	272.05
	P2	-70.01	230.92	270.30
	P3	-70.07	232.63	272.42
	P4	-74.03	236.40	276.61
区域 2	P5	-87.93	83.36	108.03
	P6	-90.18	75.25	99.66
	P7	-91.13	60.49	82.49
	P8	-92.59	47.66	69.18
	P9	-96.11	57.10	78.61
	P10	-98.52	41.37	67.58
区域 3	P11	-98.08	19.88	36.12
	P12	-99.41	19.70	38.57
	P13	-103.26	11.68	31.46
	P14	-103.90	11.09	29.10
	P15	-107.04	2.38	12.45
	P16	-109.43	3.00	13.29

3.2 多用户定点测试

通过选取不同业务场景(车间工作状态监控、员工工作状态监控、非法闯入监控、无人机监控等),实施多用户定点测试,结果见表 2。可看出经上行速率增强算法优化后的网络上行速率提升幅度最高达 360%,平均上行速率提升了 113%。

在 3.5 GHz 网络下,各业务场景的视频出现严重卡顿现象;而经上行速率增强算法优化后的 3.5 GHz+2.1 GHz 网络可保障 4K 高清摄像头正常工作,4K 监控视频回传空口速率约为 20 Mbit/s,视频画面流畅。

表 2 多用户定点测试结果

Table 2 Multi-user fixed-point test results

用户位置	参考信号接收功率/(dBm)	3.5 GHz 网络上行速率/(Mbit · s ⁻¹)	3.5 GHz+2.1 GHz 网络上行速率/(Mbit · s ⁻¹)
职工办公室	-87.47	81.66	100.54
无人机监控点	-97.68	23.26	38.52
电力调度室 1	-96.79	30.35	47.02
电力调度室 2	-98.00	29.94	43.19
地下传送车间 1	-98.58	17.22	28.87
地下传送车间 2	-101.00	9.69	25.30
地下传送车间 3	-102.89	12.97	29.81
地下传送车间 4	-108.54	2.63	12.07

3.3 拉网测试

绕矿山主要路线 1 圈拉网形成闭环路线,如图 8 所示。



图 8 拉网路线

Fig. 8 Route of network pulling

拉网测试结果如图 9 所示,可看出采用上行速率增强算法的 3.5 GHz+2.1 GHz 网络平均上行速率提升 31%。

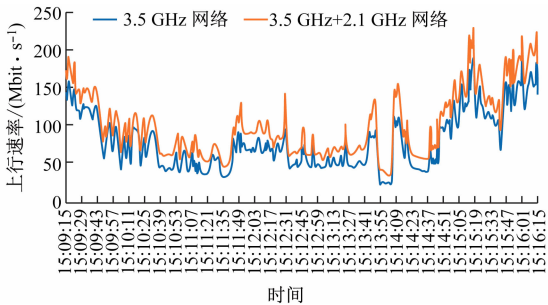


图 9 拉网测试结果

Fig. 9 Network pulling test results

4 结语

智慧矿山 5G 网络上行速率增强算法将 C-Band 频段与 Sub-3 GHz 频段叠加,增加了上行频谱资源利用率,提高了上行容量和速率。测试结果表明,该算法能提升矿区近点区域上行速率 17%、中点区域上行速率 41%、远点区域上行速率 213%,网络平均上行速率得到明显提升。

参考文献(References):

[1] 王国法,赵国瑞,胡亚辉. 5G 技术在煤矿智能化中的应用展望[J]. 煤炭学报,2020,45(1):16-23.
WANG Guofa, ZHAO Guorui, HU Yahui. Application prospect of 5G technology in coal mine intelligence[J]. Journal of China Coal Society,2020,45(1):16-23.

[2] 申雪,卜小平,余文科. 基于 5G 技术的“智慧矿山”建设研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2020,15(7):620-624.
SHEN Xue, BO Xiaoping, YU Wenke. Study on intelligence mine construction based on 5G technology [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology,2020,15(7):620-624.

[3] 孙继平. 煤矿智能化与矿用 5G 和网络硬切片技术[J]. 工矿自动化,2021,47(8):1-6.
SUN Jiping. Coal mine intelligence, mine 5G and network hard slicing technology [J]. Industry and Mine Automation,2021,47(8):1-6.

[4] 孙继平,陈晖升. 智慧矿山与 5G 和 WiFi6[J]. 工矿自动化,2019,45(10):1-4.
SUN Jiping, CHEN Huisheng. Smart mine with 5G and WiFi6[J]. Industry and Mine Automation,2019,45(10):1-4.

[5] 张立亚,杨维,李晋豫. 矿用 5G 通信系统射频能量损耗模型[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2021,49(9):6-10.
ZHANG Liya, YANG Wei, LI Jinyu. Radio frequency energy loss model of mine 5G communication system [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2021, 49(9):6-10.

[6] 蒋建峰,孙金霞,尤澜涛,等. 基于 Massive MIMO 及频谱叠加的 5G SA 网络上行优化方法[J/OL]. 无线电工程: 1-7 [2021-10-25]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=WXDG20211022000&uniplatform=NZKPT&v=bhUOPhLLv-tA8qc5tNnlCFvUw8eB0x6pOhVW4EXd8UoTPphbofIlrKwO6eo9hR5m>.
JIANG Jianfeng, SUN Jinxia, YOU Lantao, et al. 5G SA network uplink optimization method based on Massive MIMO and spectrum superposition[J/OL]. Radio Engineering: 1-7 [2021-10-25]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=WXDG20211022000&uniplatform=NZKPT&v=bhUOPhLLv-tA8qc5tNnlCFvUw8eB0x6pOhVW4EXd8UoTPphbofIlrKwO6eo9hR5m>.

[7] 王波. 5G SA 的网络架构和关键技术[J]. 移动通信,2020,44(1):24-32.
WANG Bo. The network architecture and key technologies of 5G SA[J]. Mobile Communications,2020,44(1):24-32.

[8] 胡煜华,王鑫炎,李贝. 5G 网络上行覆盖增强研究[J]. 电信科学,2021,37(7):134-141.
HU Yuhua, WANG Xinyan, LI Bei. Research on uplink coverage enhancement of 5G network [J]. Telecommunications Science,2021,37(7):134-141.

[9] 张文俊,林延. 5G 网络覆盖能力提升策略研究[J]. 电信快报,2021(9):17-20.
ZHANG Wenjun, LIN Yan. Research on promotion strategy of network coverage capability based on 5G [J]. Telecommunications Information, 2021 (9):17-20.

[10] 曹丽芳,江天明,邓伟,等. 5G 频段间协同技术[J]. 电信科学,2021,37(8):148-154.
CAO Lifang, JIANG Tianming, DENG Wei, et al. 5G inter-band cooperation technology [J]. Telecommunications Science,2021,37(8):148-154.

[11] 耿志明. 面向 5G 的上行分流聚合传输方案的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学,2018.
GENG Zhiming. Design and implementaion of uplink offloading and aggregation for 5G[D]. Beijing:Beijing University of Posts and Telecommunications,2018.

[12] 林高全,曹芳,林锦全. 一种降低 5G 上行数据传输时延的方案[J]. 通信技术,2021,54(6):1412-1416.
LIN Gaoquan, CAO Fang, LIN Jinquan. A method to reduce 5G uplink data transmission delay [J]. Communications Technology, 2021, 54 (6):1412-1416.

[13] 黄智瀛,白锡添,杜安静. 5G SUL 上行增强技术研究及应用[J]. 广东通信技术,2021,41(8):49-51.
HUANG Zhiying, BAI Xitian, DU Anjing. Research and application of 5G SUL uplink enhancement technology [J]. Guangdong Communication Technology,2021,41(8):49-51.

[14] 郑鸿麟. 网络覆盖边缘 5G NSA 上行速率的优化与提升[J]. 通信技术,2020,53(11):2694-2698.
ZHENG Honglin. Optimization and promotion of 5G NSA uplink rate at the edge of network coverage[J]. Communications Technology, 2020, 53 (11):2694-2698.

[15] 常诚. 双超级上行提升 5G 上行速率[J]. 电子元器件与信息技术,2020,4(10):37-39.
CHANG Cheng. Dual super uplink improves the uplink rate of 5G [J]. Electronic Component and Information Technology,2020,4(10):37-39.